

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)



REC'D 05 JUL 2001	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 100 32 579.3

Anmeldetag: 5. Juli 2000

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements sowie ein nach dem Verfahren hergestelltes Halbleiterbauelement

IPC: B 81 C 1/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Mai 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

R. 38324

ROBERT BOSCH GMBH
Postfach 30 02 20
D-70442 Stuttgart

5

Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements sowie
ein nach dem Verfahren hergestelltes Halbleiterbauelement

10

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung
eines Halbleiterbauelements, wie insbesondere ein
mehrschichtiges Halbleiterbauelement, und von einem
verfahrensgemäß hergestellten Halbleiterbauelement nach der
Gattung des betreffenden unabhängigen Patentanspruchs.

Halbleiterbauelemente, wie insbesondere mikromechanische
Drucksensoren, werden in der Regel in sogenannter Bulk- oder
Oberflächenmikromechanik hergestellt. Die Herstellung von
bulk-mikromechanischen Bauelementen ist relativ aufwendig und
damit teuer. Bei bekannten oberflächenmikromechanischen
Bauelementen ist die Herstellung einer Kaverne aufwendig. Eine
übliche Prozeßfolge zur Herstellung einer Kaverne in
Oberflächenmikromechanik besteht insbesondere aus dem
Abscheiden einer Opferschicht, dem Abscheiden einer
Membranschicht, die meist aus Polysilizium besteht, dem
Erzeugen von Öffnungen in der Membranschicht bzw. dem Öffnen
eines lateralen Ätzkanals, dem Herausätzen der Opferschicht
und dem Verschließen der Öffnungen, wobei beim Verschließen
der Kaverneninnendruck definiert wird. In solcher Weise
hergestellte oberflächenmikromechanische Drucksensoren haben
zudem den Nachteil, daß ein auf sie einwirkender Druck meist
nur über ein kapazitives Verfahren ausgewertet werden kann.
Eine piezoresistive Auswertung des auf sie einwirkenden Drucks

ist schwierig, da es durch bekannte oberflächenmikro-
mechanische Verfahren lediglich möglich ist, piezoresistive
Widerstände aus polykristallinem Silizium herzustellen. Diese
haben gegenüber piezoresistiven Widerständen aus
5 einkristallinem Silizium den Nachteil einer geringen
Langzeitstabilität, wobei sie zusätzlich auch noch einen
geringen piezoelektrischen Effekt aufweisen.

Vorteile der Erfindung

10

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden
Merkmalen des betreffenden unabhängigen Patentanspruchs hat
demgegenüber insbesondere den Vorteil, daß ein
mikromechanisches Bauelement, wie insbesondere ein Drucksensor
15 mit piezoresistiven Widerständen aus einkristallinem Silizium,
ein kapazitiver Drucksensor, oder ein Drucksensor, der
Widerstände aufweist, deren Widerstandswert sich aufgrund der
Durchbiegung einer Membran des Drucksensors bei
Druckbeaufschlagung ändert, einfach und kostengünstig in
20 Oberflächenmikromechanik hergestellt werden kann. Durch die in
den abhängigen Patentansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind
vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des Verfahrens
und des Halbleiterbauelements nach den betreffenden
unabhängigen Patentansprüchen ermöglicht.

Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung besteht darin, eine
Kaverne bzw. einen Hohlraum in einem Halbleitersubstrat, wie
insbesondere in einem Siliziumsubstrat, mit einem Ätzmedium zu
schaffen. Hierzu wird die Deckschicht des Substrats im Bereich
30 der nachfolgend erzeugten Kaverne derart geätzt, daß in dieser
Öffnungen bzw. Ätzöffnungen, wie insbesondere Poren bzw.
Hohlräume, entstehen. Über die Ätzöffnungen bzw. nach außen
offenen Poren gelangt das Ätzmedium oder ein oder mehrere
weitere Ätzmedien an tiefere Bereiche des Substrats. Der in
35 diesem Bereich von dem Ätzmedium bzw. von den weiteren
Ätzmedien zersetzte Teil des Halbleitersubstrats wird

bevorzugt über die Öffnungen bzw. Poren der Deckschicht und/oder über eine externe Zugangsöffnung zu diesem Bereich entfernt. Die Deckschicht weist vorzugsweise eine Dicke von ca. 2 bis 10 μm , wie insbesondere 3 bis 5 μm , auf. Im Falle einer Zugangsöffnung wird bevorzugt, anstelle einer porösen Deckschicht von ca. 2 bis 10 μm , eine poröse Deckschicht gebildet, die bevorzugt eine Dicke von ca. 40 bis 80 μm , wie insbesondere 50 bis 60 μm , aufweist. Die größere Dicke hat den Zweck, daß die Deckschicht als Ätz-Pufferschicht beim Ätzen der Zugangsöffnung dienen kann und so einen sicheren Ätzstop vor einer auf der Deckschicht abgeschiedenen Epitaxieschicht ermöglicht. Im Falle eines Drucksensors bildet die auf der Deckschicht abgeschiedene Epitaxieschicht die eigentliche Sensormembran.

15

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden beim Ätzvorgang Maßnahmen ergriffen, die dafür sorgen, daß die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren in der Deckschicht geringer, vorzugsweise deutlich geringer, als die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume in dem Bereich des Substrats ist, der den späteren Hohlraum bzw. die Kaverne bildet.

20

Dies wird nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung erreicht, indem die Ätzparameter und/oder das oder die Ätzmedien beim Ätzen der Poren in der Deckschicht und die Ätzparameter und/oder das oder die Ätzmedien beim Ätzen der Poren bzw. Hohlräume in dem Bereich der späteren Kaverne unterschiedlich gewählt sind.

30

Hieran ist insbesondere vorteilhaft, daß die Porosität der Deckschicht zum Abtransport des zur Herstellung der Kaverne zu zersetzenden Siliziums in prozeßtechnisch gut kontrollierbarer Weise bevorzugt lediglich angemessen groß einstellbar ist.

35

Andererseits kann die Kaverne jedoch schnell und damit kostengünstig hergestellt werden.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, die Ätzparameter derart einzustellen und/oder das oder die Ätzmedien beim Ätzen der Kaverne derart zu wählen, daß die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume
5 derart hoch ist, daß die Poren bzw. Hohlräume sehr rasch miteinander "überlappen". Hierdurch entsteht zunächst ein einziger weitgehend flächenhafter Ausgangshohlraum im Substrat, der sich mit fortschreitender Zeit in die Tiefe ausdehnt und die Kaverne bildet.

10

Bei einer bevorzugten, zur unmittelbar vorstehenden Ausführungsform alternativen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, die Ätzparameter und/oder das oder die Ätzmedien beim Ätzen der Kaverne derart zu wählen, daß die Porosität des
15 Bereichs des Substrats, der die spätere Kaverne bildet, größer als die Porosität der Deckschicht ist. Bevorzugt weist die Vorstufe der späteren Kaverne eine Porosität von mehr als 80 % auf. Vorzugsweise wird die Kaverne nachfolgend aus dem porösen Bereich des Substrats unter Ausführung von einem oder mehreren
20 Temperschritten, vorzugsweise über ca. 900 °C, gebildet.

Bei einer Temperung, bevorzugt unter einer Wasserstoff-, Stickstoff- oder Edelgasatmosphäre, wie bei Temperaturen über ca. 900 °C, ordnen sich die Poren im Bereich des Siliziums, der die spätere Kaverne bildet, bei einer Porosität von ca. mehr als 80 % um, wodurch unter der gering porösen Deckschicht bzw. Startschicht für eine nachfolgend abzuscheidende Epitaxieschicht eine einzelne große Pore, also ein Hohlraum bzw. eine Kaverne, entsteht. Die Poren auf der Oberseite der
30 gering porösen Schicht bzw. Startschicht werden bei diesem Hochtemperaturschritt weitgehend verschlossen, so daß auf der Startschicht eine weitgehend monokristalline Siliziumschicht, die die eigentliche Sensormembran bildet, abgeschieden werden kann.

35

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei dem Ätzmedium und/oder den Ätzmedien zur Erzeugung der Öffnungen und/oder Poren in der Deckschicht und/oder zur Erzeugung der Kaverne um Flußsäure (HF) oder um eine flüssige Mischung oder eine chemische Verbindung, die Flußsäure enthält.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird dem Ätzmedium bzw. den Ätzmedien ein leicht flüchtiger Bestandteil, vorzugsweise ein Alkohol, wie z. B. Äthanol, und/oder gereinigtes Wasser zur Verdünnung des Ätzmediums bzw. der Ätzmedien beigegeben.

Äthanol reduziert die Oberflächenspannung eines mit ihm versehenen Ätzmediums, wodurch eine bessere Benetzung der Siliziumoberfläche und ein besseres Eindringen des Ätzmediums in geätzte Poren bzw. Öffnungen bzw. Hohlräume ermöglicht wird. Ferner sind die während des Ätzvorgangs entstehenden Blasen kleiner als ohne die Zugabe von Äthanol zum Ätzmedium und die Blasen können so besser durch die Poren der Deckschicht entweichen. Daher läßt sich die Porengröße und/oder die Porosität der Deckschicht in vorteilhafter Weise kleiner halten als ohne die Zugabe des Alkohols.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, die Öffnungen und/oder Poren in der Deckschicht und/oder im Bereich der späteren Kaverne mit einem elektrochemischen Verfahren, vorzugsweise unter Verwendung des vorgenannten Ätzmediums bzw. der vorgenannten Ätzmedien, zu erzeugen.

Ferner ist bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung unter Verwendung eines elektrochemischen Ätzverfahrens, vorzugsweise ein Ätzverfahren unter Verwendung von Flußsäure (HF), vorgesehen, die Ausdehnungsgeschwindigkeit der beim Ätzvorgang entstehenden Poren oder Hohlräume durch das Anlegen einer elektrischen Spannung und eines hierdurch

- hervorgerufenen elektrischen Stroms durch das Ätzmedium bzw. die Ätzmedien zu beeinflussen. Die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume ist insbesondere abhängig von der Dotierung des zu ätzenden Siliziumsubstrats, der Stromdichte, ggf. der HF-Konzentration im Ätzmedium und der Temperatur. Es versteht sich, daß dies lediglich Beispiele relevanter Verfahrensparameter eines erfindungsgemäßen Ätzverfahrens sind.
- 10 Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Ätzmedium, die HF-Konzentration im Ätzmedium und/oder die Dotierung des zu ätzenden Bereichs und/oder die Temperatur und ggf. weitere Prozeßparameter des Ätzverfahrens derart gewählt, daß sich der Ätzvorgang bzw. die Poren- bzw. Hohlraumbildung
- 15 in geeigneter Weise einstellen und/oder mit dem Ausschalten der elektrischen Spannung abstellen läßt, vorzugsweise weitgehend abrupt.
- Bei einem erfindungsgemäß bevorzugten elektrochemischen
- 20 Ätzverfahren mit einem einzigen Ätzmedium und/oder mit zwei oder mehreren Ätzmedien wird in einem ersten Zeitraum, während dem sich das Ätzmedium im Bereich der Deckschicht befindet, eine erste, nicht notwendigerweise zeitlich konstante Stromdichte im Ätzmedium eingestellt. Während eines zweiten Zeitraums, zu dem sich das betreffende Ätzmedium im Bereich der zu schaffenden Kaverne befindet, wird bevorzugt eine zweite, nicht notwendigerweise zeitlich konstante Stromdichte eingestellt, die höher oder deutlich höher als die oder eine während des ersten Zeitraums eingestellte Stromdichte ist.
- 30 Hierdurch wird die Kaverne oder ein Vorstadium der Kaverne durch Poren bzw. Hohlräume gebildet, deren Ausdehnungsgeschwindigkeit während des Ätzvorgangs der Kaverne höher oder deutlich höher als die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren zur Herstellung der porösen Deckschicht ist.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, den porös zu ätzenden Bereich der Deckfläche des Substrats vor dem Ätzvorgang mit einer Maskenschicht bzw. Stützschrift zu umgeben, die einen freien Zugang des

- 5 Ätzmediums bzw. der Ätzmedien zu dem porös zu ätzenden Bereich gestattet bzw. gestatten und die die nicht porös zu ätzenden Bereiche der Deckfläche des Substrats gegen einen Ätzangriff abschirmt.

- 10 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Stützschrift dergestalt, daß sie den porös zu ätzenden Bereich bzw. die porös zu ätzende Schicht der Deckfläche während und nach dem Ätzen der Kaverne am nicht geätzten Teil des Substrats mechanisch fixiert.

15

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Stützschrift vor dem Ätzen des porös zu ätzenden Bereichs bzw. der zu ätzenden Schicht geschaffen, indem zumindest der nächst umliegende Bereich um die porös zu ätzende Schicht der

- 20 Deckfläche eines p-dotierten Siliziumsubstrats mit einer n-Dotierung versehen wird. Hierdurch kann ein "Unterätzen" des Substrats insbesondere in dem Bereich weitgehend verhindert werden, in dem die porös geätzte Schicht mit dem Siliziumsubstrat mechanisch verbunden ist. Anderenfalls bestünde die Gefahr, insbesondere bei einer bevorzugt dünnen porösen Schicht bzw. Startschicht, daß diese sich vom Substrat ablöst. Zusätzlich kann eine Siliziumnitrid-Schicht als Maskierung und insbesondere zum Schutz gegen einen Ätzangriff von ggf. darunter liegenden elektronischen Schaltungen
- 30 verwendet werden.

- Alternativ oder ergänzend kann anstelle der n-Dotierung bzw. einer n-dotierten Schicht eine Metallschicht oder Metallmaske vorgesehen sein, die ebenfalls ein Unterätzen des Substrats
- 35 weitgehend verhindert. Die Verwendung einer Metallschicht bzw. Metallmaske wird jedoch in der Regel nur dann zweckmäßig sein,

wenn im Substrat keine Schaltkreise vorgesehen werden sollen, da ansonsten im Substrat auch nach dem Entfernen der Metallschicht bzw. Metallmaske verbleibende Metallatome die Funktion der Schaltkreise beeinträchtigen könnten.

5

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, eine porös geätzte Deckschicht, wie insbesondere eine Siliziumschicht, vorzubehandeln, bevor auf diese eine Epitaxieschicht, vorzugsweise eine weitgehend monokristalline Siliziumschicht, aufgebracht bzw. abgeschieden wird. Die Vorbehandlung verfolgt das Ziel, die Poren in der porös geätzten Deckschicht bzw. Startschicht ganz oder teilweise zu verschließen, um die Qualität der weitgehend monokristallinen Siliziumschicht, falls erforderlich oder zweckmäßig, weiter zu verbessern.

15

Eine erfindungsgemäße Vorbehandlung kann in einer Temperung der porös geätzten Deckschicht bzw. Startschicht bestehen, wobei die Temperung bei einer hohen Temperatur vorgenommen wird, beispielsweise bei einer Temperatur im Bereich von ca. 900 °C bis ca. 1100 °C. Bevorzugt erfolgt die Temperung unter einer Wasserstoff-, Stickstoff- und/oder einer Edelgasatmosphäre.

20

Alternativ oder ergänzend zur vorgenannten Vorbehandlung kann eine (geringfügige) Oxidierung der porös geätzten Silizium-Startschicht vorgesehen werden. Bevorzugt erfolgt die Oxidierung unter (geringfügiger) Zugabe von Sauerstoff in die Atmosphäre, der die Startschicht im Reaktor ausgesetzt ist, wobei die Oxidierung bevorzugt bei einer Temperatur im Bereich von etwa 400 °C bis 600 °C erfolgt. Unter geringfügig ist eine Oxidierung zu verstehen, die weitgehend lediglich die Poren der Startschicht ganz oder teilweise verschließt und eine etwa netzartige Oxidstruktur bildet. Die Oxidstruktur soll erfindungsgemäß die Oberfläche der porös geätzten Startschicht möglichst wenig bedecken, um dafür zu sorgen, daß sich auf der

30

35

Startschicht eine möglichst einkristalline Siliziumschicht abscheiden läßt, die die eigentliche Sensormembran bildet. Falls nötig, wird die Oxidierung in einem nachfolgenden Prozeßschritt soweit entfernt, bis dieser erwünschte Zustand eintritt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Dicke der Startschicht wesentlich kleiner als die Dicke der auf ihr abgeschiedenen Siliziumschicht, so daß das physikalische Verhalten der Sensormembran weitgehend durch die prozeßtechnisch gut in ihrer Dicke einstellbare Siliziumschicht bestimmt ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die gering poröse Schicht bzw. Startschicht für die Abscheidung einer Epitaxieschicht, die beispielsweise die Membran eines Drucksensors bildet, mit einem Ätzmedium geätzt, das eine Flußsäure-Konzentration (HF-Konzentration) im Bereich von ca. 20 % bis ca. 50 %, vorzugsweise ca. 30 % bis ca. 40 %, insbesondere ca. 33 %, aufweist.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wird die poröse Schicht, die eine Vorstufe des späteren Hohlraums bzw. der Kaverne bildet, mit einem Ätzmedium geätzt, das eine Flußsäure-Konzentration (HF-Konzentration) im Bereich von ca. 0 % bis ca. 40 %, vorzugsweise ca. 5 % bis ca. 20 %, insbesondere weniger als ca. 20 %, aufweist. Bevorzugt besteht der verbleibende Teil des Ätzmediums, der nicht durch Flußsäure gebildet ist, weitgehend aus einem Alkohol, wie insbesondere Äthanol.

Um während eines vorgenannten erfindungsgemäßen Ätzschritts zur Bildung eines Hohlraums bzw. einer Kaverne eine hohe Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume in der zu zersetzenden Schicht zu erreichen, bei der die Poren bzw. Hohlräume sehr rasch miteinander "überlappen" und so eine

einzigste "Riesenpore" bilden, ist bei einer erfindungsgemäßen Ausführungsform der Erfindung ein erfindungsgemäßes Ätzmedium vorgesehen. Das erfindungsgemäße Ätzmedium weist eine Flußsäure-Konzentration (HF-Konzentration) im Bereich von ca.

- 5 0 % bis ca. 5 %, vorzugsweise ca. 1 % bis ca. 3 %, insbesondere weniger als ca. 5 % auf. Bevorzugt besteht der verbleibende Teil dieses Ätzmediums, der nicht durch Flußsäure gebildet ist, weitgehend aus einem Alkohol, wie insbesondere Äthanol, und/oder aus gereinigtem Wasser.

10

Zeichnungen

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen mehrschichtigen Halbleiterbauelements wird
15 nachfolgend am Beispiel von Drucksensoren unter Verwendung von schematischen, nicht notwendigerweise maßstäblichen Zeichnungen näher erläutert, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder gleichwirkende Schichten oder Teile bezeichnen. Es zeigt:

- 20 Fig. 1 eine erste bevorzugte Variante einer Vorstufe eines erfindungsgemäßen Drucksensors nach der Erzeugung einer Siliziummembran mit geringer Porosität in einem Siliziumsubstrat mit einer unter der Siliziummembran liegenden porösen Siliziumschicht mit demgegenüber hoher Porosität - im Querschnitt;

- Fig. 2 die in Fig. 1 dargestellte erste Vorstufe, nachdem die unter der Siliziummembran liegende
30 Siliziumschicht mit hoher Porosität zu einem Hohlraum geworden ist - im Querschnitt;

- Fig. 3 eine erste Variante einer auf der Grundlage der in Fig. 2 dargestellten Vorstufe hergestellte
35 weitere Vorstufe eines Drucksensors, nachdem die poröse Siliziummembran vorbehandelt und

dann mit einer Epitaxieschicht versehen worden ist, die die eigentliche Membran des Drucksensors bildet - im Querschnitt;

5 Fig. 4

eine zweite Variante einer auf der Grundlage der in Fig. 2 dargestellten Vorstufe hergestellte weitere Vorstufe eines Drucksensors, nachdem die poröse Siliziummembran mit einer Epitaxieschicht versehen worden ist, die die eigentliche Membran des Drucksensors bildet - im Querschnitt;

10

Fig. 5

einen auf der Basis der in den Figuren 3 oder 4 dargestellten Vorstufe hergestellten Absolutdrucksensor, der mit monokristallinen, piezoresistiven Widerständen und dotierten Zuleitungen versehen worden ist - im Querschnitt;

15

20

Fig. 6

den in Fig. 5 dargestellten Absolutdrucksensor, der mit im Sensor integrierten Schaltungen versehen worden ist - im Querschnitt;

Fig. 7

eine erste Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors mit einer Zugangsöffnung und einem lateralen Kanal zum Hohlraum - im Querschnitt;

30 Fig. 8

den Umriß des Membranbereichs des in Fig. 7 dargestellten Differenzdrucksensors - in Draufsicht;

Fig. 9

eine zweite Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors mit einer Zugangsöffnung zum Hohlraum - im Querschnitt;

35

- Fig. 10 eine Vorstufe einer dritten Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors mit einer einzigen dicken porösen Schicht - im Querschnitt;
- 5
- Fig. 11 die in Fig. 10 dargestellte Vorstufe mit einer ersten Zugangsöffnung - im Querschnitt;
- Fig. 12 die in Fig. 10 dargestellte Vorstufe mit einer zweiten Zugangsöffnung - im Querschnitt;
- 10
- Fig. 13 eine Vorstufe einer vierten Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors mit einer porösen Schicht, die sich bis zur Unterseite des Substrats erstreckt - im Querschnitt;
- 15
- Fig. 14 die in Fig. 13 dargestellte Vorstufe, nachdem die sich bis zur Unterseite des Substrats erstreckende poröse Schicht entfernt worden ist - im Querschnitt;
- 20
- Fig. 15 eine Vorstufe eines erfindungsgemäßen kapazitiven Absolutdrucksensors - im Querschnitt;
- Fig. 16 die in Fig. 15 dargestellte Vorstufe nach der Erzeugung einer porösen Siliziummembran mit einem unter der Siliziummembran liegenden Hohlraum - im Querschnitt;
- 30
- Fig. 17 eine erste Variante einer Vorstufe eines Drucksensors mit Widerständen, deren Widerstand sich aufgrund der Durchbiegung einer Membran des Drucksensors bei Druckbeaufschlagung ändert- im Querschnitt;
- 35

- Fig. 18 eine zweite Variante einer Vorstufe eines Drucksensors mit Widerständen, deren Widerstand sich aufgrund der Durchbiegung einer Membran des Drucksensors bei Druckbeaufschlagung ändert- im Querschnitt;
- Fig. 19 die in Fig. 17 dargestellte Vorstufe nach der Erzeugung einer porösen Siliziummembran in der auf dem Siliziumsubstrat abgeschiedenen Silizium-Epitaxieschicht mit einem unter der Siliziummembran liegenden Hohlraum - im Querschnitt;
- Fig. 20 die in Fig. 19 dargestellte weitere Vorstufe, nachdem die poröse Siliziummembran mit einer Verschlussschicht versehen worden ist - im Querschnitt;
- Fig. 21 eine erste Variante eines Differenzdrucksensors, der auf der Basis des in Fig. 20 dargestellten Absolutdrucksensors hergestellt worden ist - im Querschnitt; und
- Fig. 22 eine zweite Variante eines Differenzdrucksensors, der auf der Basis des in Fig. 20 dargestellten Absolutdrucksensors hergestellt worden ist - im Querschnitt.
- Fig. 1 zeigt eine bevorzugte Variante einer Vorstufe 100 des in Fig. 5 dargestellten Absolutdrucksensors 500 - im Querschnitt. Zur Herstellung des in Fig. 5 dargestellten Absolutdrucksensors 500 wird zunächst auf der Oberseite eines Siliziumsubstrats 101 eine Maskenschicht 102 erzeugt, wobei ein nicht durch die Maskenschicht 102 abgedeckter Bereich 103 entsteht. Bei der Maskenschicht kann es sich beispielsweise um eine Nitridschicht, eine n-dotierte Schicht (bei p-dotiertem

Siliziumsubstrat) oder eine sonstige geeignete Schicht handeln, die von dem nachfolgend verwendeten Ätzmedium weitgehend nicht angegriffen wird.

- 5 Die Oberseite des Siliziumsubstrats 101 wird elektrochemisch unter Verwendung eines geeigneten Ätzmediums derart geätzt, daß das Ätzmedium unmittelbar unter dem nicht abgedeckten Bereich 103 kleine Öffnungen bzw. Poren in dem Siliziumsubstrat 101 erzeugt. Es entsteht eine Siliziumschicht
10 104 mit geringer Porosität. Durch diese kleinen Öffnungen bzw. Poren der Siliziumschicht 104 gelangt das Ätzmedium in tiefer gelegene Bereiche des Siliziumsubstrats 101 und bildet ebenfalls Poren in dem dort befindlichen Silizium. Hierbei entsteht eine poröse Siliziumschicht 105 unterhalb der porösen
15 Siliziumschicht 104.

- Bei dem Ätzmedium zum elektrochemischen Ätzen, wie insbesondere Naßätzen, handelt es sich bevorzugt um Flußsäure (HF) oder um ein Ätzmedium, das u. a. Flußsäure (HF) enthält.
20 Erfindungsgemäß wird bevorzugt ein elektrisches Feld zwischen der Oberseite und der Unterseite des Siliziumsubstrats 101 erzeugt, wobei über die eingestellte elektrische Feldstärke bzw. die eingestellte elektrische Stromdichte die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Öffnungen bzw. Hohlräume beeinflußt wird.

- Bei einem bevorzugten elektrochemischen Ätzverfahren gemäß der Erfindung, werden zu ätzende Vorstufen der Drucksensoren in ein wannenförmiges Gefäß gegeben, das mit dem Ätzmedium
30 gefüllt ist, und es wird eine elektrische Spannung derart an gegenüberliegenden Enden des Ätzmediums angelegt, daß das elektrische Feld entsteht.

- Um dafür zu sorgen, daß die poröse Siliziumschicht 104 im
35 Bereich unmittelbar unter dem von der Maskenschicht 102 ausgesparten Bereich 103 entsteht, wird nach dem Aufbringen

des Ätzmediums auf den nicht abgedeckten Bereich 103 in einem ersten Schritt eine nicht notwendigerweise konstante elektrische Stromdichte eingestellt. Sie ist vorzugsweise derart gewählt, daß unmittelbar unter dem nicht abgedeckten Bereich 103 Öffnungen bzw. Poren im Siliziumsubstrat 101 entstehen.

Ein weiteres, wichtiges Kriterium für die in dem ersten Schritt eingestellte, nicht notwendigerweise konstante elektrische Stromdichte besteht darin, eine solche elektrische Stromdichte einzustellen, bei der geeignete Öffnungen bzw. Poren im Siliziumsubstrat 101 unmittelbar unter dem nicht abgedeckten Bereich 103 entstehen. Geeignet sind insbesondere solche Öffnungen bzw. Poren, die es nachfolgend gestatten auf der während des Ätzvorgangs gebildeten porösen Siliziumschicht 104 eine weitgehend monokristalline Siliziumschicht abzuscheiden, die die eigentliche Sensormembran bildet. Daher dürfen die Öffnungen bzw. Poren nur eine adäquate Größe bzw. einen adäquaten Durchmesser aufweisen. Bevorzugte Öffnungen bzw. Poren haben beispielsweise einen Durchmesser von ca. 10 bis 100 nm, vorzugsweise ca. 10-30 nm.

Es versteht sich, daß dies lediglich ein Beispiel für geeignete Öffnungen bzw. Poren ist.

Nachdem das Ätzmedium die poröse Siliziumschicht 104 durchdrungen hat, wird in einem zweiten Schritt bevorzugt die Stromdichte im Vergleich zur Stromdichte während des ersten Schritts erhöht, wodurch die Poren- bzw. Hohlraumausdehnungsgeschwindigkeit gesteigert wird und größere Poren in der Siliziumschicht 105 im Vergleich zu den Poren in der porösen Siliziumschicht 104 entstehen.

Das von dem Ätzmedium zersetzte Silizium wird während des Ätzvorgangs und/oder nachfolgend über die Öffnungen bzw. Poren

in der porösen Siliziumschicht 104 entfernt und "frisches" Ätzmedium herangeführt.

Bei der in Fig. 1 dargestellten bevorzugten ersten Variante
5 des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung der Vorstufe
eines Drucksensors bzw. eines Hohlraums, wird der Ätzvorgang
zur Herstellung des späteren Hohlraums 201 (Fig. 2) durch die
Wahl geeigneter Prozeßparameter und/oder eines oder mehrerer
geeigneter Ätzmedien derart eingestellt, daß die Porosität der
10 Siliziumschicht 105, die den späteren Hohlraum 201 bildet,
ausreichend groß ist. Unter "ausreichend" wird bevorzugt eine
Porosität verstanden, die größer als 80 Prozent und kleiner
als 100 Prozent ist. Nachfolgend wird eine Temperung
vorgenommen. Die Temperung erfolgt bevorzugt unter einer
15 Wasserstoff-, Stickstoff- oder Edelgasatmosphäre und/oder bei
einer Temperatur von über ca. 900 °C. Aufgrund der hohen
Porosität der Siliziumschicht 105 ordnen sich bei der
Temperung die Poren so um, daß unter der gering porösen
Siliziumschicht 104 eine einzelne große Pore entsteht, also
20 der in Fig. 2 dargestellte Hohlraum bzw. die dargestellte
Kaverne 201. Die Poren auf der Oberseite der gering porösen
Siliziumschicht 104 werden bei der Temperung bzw. dem
Hochtemperaturschritt weitgehend verschlossen, so daß auf
dieser die eigentliche Sensormembran als weitgehend
monokristalline Siliziumschicht abgeschieden werden kann.

Bei einer nicht dargestellten, ebenfalls bevorzugten
erfindungsgemäßen zweiten Variante zur Erzeugung der Vorstufe
eines Drucksensors bzw. eines Hohlraums 201 werden die
30 Prozeßparameter nach der Bildung der Siliziumschicht 104
geringer Porosität derart eingestellt, daß die
Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume innerhalb
einer dünnen Übergangsschicht unter der Siliziumschicht 104
stark ansteigt, wobei die Poren in dieser Übergangsschicht
35 zusammenwachsen bzw. einander quasi "überlappen". Mit anderen
Worten: Die Übergangsschicht ist ein zunächst flächenhafter

Hohlraum, der während des weiteren Ätzvorgangs in die Tiefe wächst und schließlich den Hohlraum bzw. die Kaverne 201 bildet. D. h. es werden nicht erst Poren geätzt und dann vergrößert, sondern die Übergangsschicht, eine flächenhafte
5 "Riesenpore" mit zunächst geringer Dicke, wächst langsam in die Tiefe.

Erfindungsgemäß wird das Ätzmedium und/oder die Ätzmedien bevorzugt mit einem leicht flüchtigen Bestandteil versehen. Vorzugsweise wird ein Alkohol verwendet, wie beispielsweise
10 Äthanol.

Falls erforderlich oder zweckmäßig, ist erfindungsgemäß vorgesehen, den porös zu ätzenden Bereich der Deckfläche des Substrats 101 mit einer Maskenschicht und/oder Stützschrift zu
15 versehen, die die porös zu ätzende Schicht der Deckfläche, d. h. die Siliziumschicht 104, während und nach dem Ätzen bzw. während der Schaffung des Hohlraums 201 an den Verbindungsstellen im Bereich der nicht geätzten Deckfläche des Substrats mechanisch fixiert (nicht dargestellt).

20

Eine solche Stützschrift kann beispielsweise geschaffen werden, indem zumindest der nächst umliegende Bereich um die porös zu ätzende Siliziumschicht 104 der Deckfläche des p-dotierten Siliziumsubstrats 101 mit einer n-Dotierung versehen wird. Hiermit kann ein "Unterätzen" des Siliziumsubstrats 101 im Bereich der Verbindungsstellen bzw. Grenzflächen zwischen der Siliziumschicht 104 und dem Siliziumsubstrat 101 weitgehend verhindert werden. Ferner kann dafür Sorge getragen werden, daß auch eine bevorzugt dünne poröse Siliziumschicht
30 104, die die Startschicht einer Silizium-Epitaxieschicht 301 bzw. 401 (Fig. 3 und 4) bildet, sicher am Siliziumsubstrat 101 befestigt ist.

Fig. 3 zeigt eine erste Variante einer auf der Grundlage der
35 in Fig. 2 dargestellten Vorstufe geschaffenen weiteren Vorstufe des Absolutdrucksensors 500 im Querschnitt, der in

Fig. 5 dargestellt ist, nachdem die poröse Siliziummembran bzw. Siliziumschicht 104 vorbehandelt und dann mit einer weitgehend monokristallinen Silizium-Epitaxieschicht 301 versehen worden ist. Der Druck, der bei dem Epitaxieprozeß bzw. bei der Abscheidung der Epitaxieschicht 301 herrscht, definiert den im Hohlraum 201 eingeschlossenen Druck.

Eine bevorzugte erfindungsgemäße Vorbehandlung besteht aus einer Temperung der porösen Siliziumschicht 104. Bevorzugt wird die Temperung bei einer hohen Temperatur vorgenommen, wie beispielsweise bei einer Temperatur im Bereich von ca. 900 °C bis ca. 1100 °C und/oder die Temperung wird unter einer Wasserstoff-, Stickstoff- und/oder Edelgasatmosphäre vorgenommen.

15

Die Vorbehandlung erlaubt es die Poren in der porös geätzten, monokristallinen Siliziumschicht 104 weitgehend zu verschließen, so daß auf dieser eine weitgehend monokristalline Silizium-Epitaxieschicht 301 abgeschieden werden kann. Es versteht sich, daß auf eine solche Vorbehandlung, insbesondere aus Kostengründen, verzichtet werden kann, wenn die Qualität der abgeschiedenen Siliziumschicht auch ohne Vorbehandlung zufriedenstellend ist.

Fig. 4 zeigt demgegenüber eine zweite Variante einer auf der Grundlage der in Fig. 2 dargestellten Vorstufe hergestellten weiteren Vorstufe des in Fig. 5 gezeigten Absolutdrucksensors 500 im Querschnitt, nachdem die poröse Siliziummembran bzw. Siliziumschicht 104 ohne Vorbehandlung mit einer ebenfalls weitgehend monokristallinen Silizium-Epitaxieschicht 401 versehen worden ist. Diese bildet wiederum die eigentliche Membran des Drucksensors. Der Druck, der bei dem Epitaxieprozeß bzw. bei der Abscheidung der Epitaxieschicht 401 herrscht, definiert, wie bei der Abscheidung der Epitaxieschicht 301, den im Hohlraum 201 eingeschlossenen Druck.

Beim Epitaxieprozeß mit Wasserstoff als Trägergas zur Herstellung der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 wird hauptsächlich Wasserstoff im Hohlraum 201 eingeschlossen. Findet die Epitaxie in etwa bei Atmosphärendruck und damit bei

5 gegenüber niedrigeren Prozeßdrücken höheren Wachstumsraten statt, so beträgt der eingeschlossene Wasserstoffdruck etwa 1 bar. Bei einem erfindungsgemäßen Hochtemperaturschritt, z. B. unter einer Stickstoffatmosphäre, diffundiert der Wasserstoff aufgrund seiner geringen Molekülgröße und aufgrund des

10 Gradienten der Wasserstoffkonzentration insbesondere durch die im Verhältnis zum Substrat in der Regel dünnere Epitaxieschicht 301 bzw. 401. Hierdurch entsteht in der Kaverne 201 nahezu ein Vakuum. Ein solcher erfindungsgemäßer Verfahrensschritt ist insbesondere bei der Herstellung eines

15 Absolutdrucksensors zweckmäßig. Dessen Hohlraum weist in der Regel einen gegenüber der Atmosphäre verminderten Druck auf, wie insbesondere Vakuum. Ferner kann es zweckmäßig sein, den erfindungsgemäßen Hochtemperaturschritt unter einer Wasserstoffatmosphäre auszuführen, wobei der Druck der

20 Wasserstoffatmosphäre vorzugsweise auf den Druck eingestellt wird, der in der Kaverne bzw. im Hohlraum des Absolutdrucksensors erwünscht ist.

Es versteht sich, daß die vorstehende Verfahrensweise zur Herstellung eines weitgehenden Vakuums in der Kaverne 201 auch bei Epitaxieprozessen mit Wasserstoff als Trägergas unter höheren oder niedrigeren Gesamtdrücken als etwa 1 bar Verwendung finden kann.

30 In Fig. 5 ist ein auf der Basis der in den Figuren 3 oder 4 dargestellten Vorstufe hergestellter Absolutdrucksensor 500 im Querschnitt gezeigt. Bei dem Absolutdrucksensor 500 sind auf der weitgehend monokristallinen Silizium-Epitaxieschicht 301 bzw. 401 in bekannter Weise monokristalline, piezoresistive

35 Widerstände 501 und Zuleitungen 502 aus dotiertem Silizium erzeugt worden.

In Fig. 6 ist ein auf der Basis des in Fig. 5 dargestellten Absolutdrucksensors 500 hergestellter Absolutdrucksensor 600 im Querschnitt gezeigt. Der in Fig. 5 dargestellte Absolutdrucksensor 500 ist in bekannter Weise mit integrierten Schaltungen 601, 602 und 603 versehen worden.

Fig. 7 zeigt eine erste Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 700 - im Querschnitt - mit einer Zugangsöffnung 701 zum Hohlraum bzw. zur Kaverne 201 über einen lateralen Kanal 702. Die in Fig. 7 dargestellte erste Variante des erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 700 ist wie der in Fig. 6 dargestellte Absolutdrucksensor 600 hergestellt worden.

Für einen Differenzdrucksensor ist es wünschenswert, Druck von der Rückseite der Membran bzw. der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 zuführen zu können. Dazu ist es notwendig, durch geeignete Ätztechniken eine Öffnung 703 von der Rückseite der Membran bzw. des Substrats 101 zu erzeugen. Eine vorzugsweise weitgehend senkrechte Wände aufweisende Öffnung 703 kann beispielsweise durch Trockenätzen, wie Plasmaätzen oder Trenchätzen, erzeugt werden. Plasmaätzen oder Trenchätzen stoppt auf Oxidschichten. Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, den Hohlraum 201 mit einer Oxidschicht zu versehen. Eine Oxidation des Hohlraums 201 vor der Abscheidung der Silizium-Epitaxieschicht 301 bzw. 401 ist jedoch nicht möglich, da dann auf der gering porösen Siliziumschicht bzw. Startschicht 104 eine nicht erwünschte polykristalline Epitaxieschicht aufwachsen würde.

30

Liegt die Zugangsöffnung 701 außerhalb des Membranbereichs, wie im Ausführungsbeispiel gemäß der Figuren 7 und 8, muß in der Maskenschicht 102 der laterale Kanal 702 berücksichtigt und der laterale Kanal 702 zusammen mit dem Hohlraum bzw. mit der Kaverne 201 in der beschriebenen Weise erzeugt werden.

35

Nach der Abscheidung der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 werden beispielsweise durch Trockenätzen ein oder mehrere Löcher bzw. Öffnungen 701 von der Oberseite der Epitaxieschicht bis zum Hohlraum 201 erzeugt. Dies kann (nicht dargestellt) entweder
5 direkt im Membranbereich (der Bereich der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 oberhalb der Öffnung 703, vgl. auch Fig. 8) oder außerhalb der Membran erfolgen, wie in den Figuren 7 und 8 dargestellt.

10 Nach der Herstellung des Hohlraums 201, des lateralen Kanals 702 sowie der Zugangsöffnung 701 werden die Wände des Hohlraums bzw. der Kaverne 201, des lateralen Kanals 702 und der Zugangsöffnung 701 in bekannter Weise in einem Oxidationsschritt oxidiert.

15

Der Oxidationsschritt ist möglicherweise bereits für die Erzeugung von Schaltungselementen notwendig und erfordert ggf. keinen zusätzlichen Aufwand. Bei geeigneter Wahl der Größe der Zugangsöffnung 701 wird diese bereits durch den

20 Oxidationsschritt verschlossen. Ansonsten kann die Zugangsöffnung 701 durch einen speziellen Verschlussschritt oder durch das Ausnutzen weiterer, zur Erzeugung von Schaltungselementen notwendiger Prozeßschritte verschlossen werden, wie beispielsweise durch die Abscheidung von Oxid, Nitrid, Metall, usw..

In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird die Öffnung 703 von der Unterseite des Substrats bzw. Wafers 101 durch Trockenätzen, wie insbesondere Trenchätzen, gebildet. Dieser
30 Ätzprozeß stoppt auf der Oxidschicht, die den Hohlraum von unten begrenzt. Durch einen sich hieran anschließenden Ätzschritt, wie ein Trockenätzschritt oder ein naßchemischer Ätzschritt, wird die den Hohlraum von unten begrenzende dünne Oxidschicht und eine ggf. auf der Rückseite des Wafers
35 vorhandene Oxidmaske entfernt und der Hohlraum bzw. die Kaverne 201 geöffnet.

Fig. 9 zeigt eine zweite Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 900 mit einer Zugangsöffnung 901 zum Hohlraum 201 - im Querschnitt. Wie im Zusammenhang mit den Figuren 7 und 8 beschrieben, wird ein lateraler Kanal 702 erzeugt. Anstelle der Zugangsöffnung 701 bei der in den Figuren 7 und 8 dargestellten ersten Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 700, wird bei dem in Fig. 9 dargestellten Differenzdrucksensor 900 eine Oxid-Stopschicht 902 zumindest oberhalb des lateralen Kanals 702 auf der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 abgeschieden. Analog zu der im Zusammenhang mit den Figuren 7 und 8 beschriebenen Weise, wird in einem nachfolgenden Ätzschritt eine Öffnung 901, wie insbesondere durch Trenchätzen, unterhalb der Oxid-Stopschicht 902 erzeugt. Der Ätzprozeß stoppt dabei im Bereich des lateralen Kanals 702 auf der Unterseite der Oxid-Stopschicht 902, die sich oberhalb der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 befindet.

Zur Erhöhung der Stabilität der Epitaxieschicht 301 bzw. 401 kann die Oxid-Stopschicht 902 durch weitere Schichten verstärkt werden. Ebenso ist es denkbar keinen lateralen Kanal zu verwenden, sondern die Öffnung im Membranbereich vorzusehen (nicht dargestellt).

Fig. 10 zeigt eine Vorstufe 1000 einer dritten Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 1100 bzw. 1200 mit einer einzigen dicken porösen Schicht 1001 - im Querschnitt. Die dicke poröse Schicht 1001 wird in analoger Weise wie insbesondere im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 4 erläutert erzeugt. Die poröse Schicht 1001 ist jedoch vorzugsweise deutlich dicker als die gering poröse Siliziumschicht 104. Im Unterschied zu den Differenzdrucksensoren 700 und 900 ist die Bildung eines Hohlraums bzw. einer Kaverne 201 vor der Bildung eines einseitig offenen Hohlraums 1101 bzw. 1201 (vgl. Figuren 11 und 12) nicht notwendig. Die mit 1002 bezeichneten Bereiche sind dotierte Bereiche des Substrats 101, die eine Unterätzung

am Rand der Membran, die sich über dem einseitig offenen Hohlraum (vgl. Fig. 11 bis 14) erstreckt, begrenzen. Dies ist aufgrund der hohen Ätztiefe zur Erzeugung der dicken porösen Schicht 1001, wie beispielsweise ca. 50 µm, sinnvoll. Die
5 Membran wird dadurch am Membranrand etwas steifer.

Ausgehend von der in Fig. 10 dargestellten Vorstufe eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 1100 bzw. 1200, wird mit isotropen oder anisotropen Ätztechniken, bevorzugt mit
10 Hochratentrenchen, von der Rückseite des Substrats bzw. Wafers 101 der einseitig offene Hohlraum 1101 bzw. 1201 hergestellt.

Aufgrund der in der dicken porösen Schicht 1001 vorhandenen Poren kann diese selektiv zum umgebenden Substratmaterial
15 durch Ätzlösungen oder Ätzeisen herausgelöst werden. Dieses Herauslösen kann im gleichen Prozeßschritt wie das Ätzen der Zugangsöffnung zur Rückseite der Sensormembran und zur Bildung des einseitig offenen Hohlraums 1101 bzw. 1201 erfolgen.

20 Die Breite des einseitig offenen Hohlraums 1101 ist geringer als die Breite des Membranbereichs bzw. als die Breite der porösen Schicht 1001, wohingegen die Breite des einseitig offenen Hohlraums 1201 größer als die Breite des Membranbereichs bzw. als die Breite der porösen Schicht 1001 ist.

Fig. 13 zeigt eine Vorstufe 1300 einer vierten Variante eines erfindungsgemäßen Differenzdrucksensors 1400 im Querschnitt. Bei der Vorstufe 1300 erstreckt sich die poröse Schicht 1301,
30 im Unterschied zu der in Fig. 10 dargestellten Vorstufe, bis zur Unterseite des Substrats 101. Die poröse Schicht 1301 kann in der im Zusammenhang mit den Figuren 10 bis 12 genannten Weise selektiv entfernt werden, ohne daß eine Zugangsöffnung geätzt werden muß. Nach der selektiven Entfernung der porösen
35 Schicht 1301 befindet sich unter der Sensormembran bzw. der Epitaxieschicht 401 ein einseitig offener Hohlraum 1401.

Durch Standardhalbleiterprozesse wird die in Fig. 15 im Querschnitt dargestellte Vorstufe 1500 eines erfindungsgemäßen kapazitiven Absolutdrucksensors 1600 (Fig. 16) hergestellt. Neben integrierten Schaltungen 601 und 603 zur Auswertung der vom kapazitiven Absolutdrucksensors 1600 abgegebenen Meßsignale, ist auf der Oberseite des Siliziumsubstrats 101 in dem Siliziumsubstrat 101 eine vorzugsweise durch eine geeignete Dotierung des Siliziumsubstrats 101 erzeugte Bodenelektrode 1501 und auf der Oberseite des Siliziumsubstrats 101 und der Bodenelektrode 1501 eine Silizium-Epitaxieschicht 401, die vorzugsweise monokristallin ist, vorgesehen. Auf der Oberseite der Silizium-Epitaxieschicht 401 ist höhenversetzt zur Bodenelektrode 1501 eine vorzugsweise durch eine geeignete Dotierung erzeugte Deckelelektrode 1502 in der Silizium-Epitaxieschicht 401 vorgesehen. Die Oberseite der Silizium-Epitaxieschicht 401 ist außer im Bereich 103 der Deckelelektrode 1502 von einer Maskenschicht 102 zum Schutz gegen einen Ätzangriff abgedeckt. Der durch die Maskenschicht 102 nicht abgedeckte Bereich 103 wird, wie bereits eingehend beschrieben, porös geätzt, vorzugsweise elektrochemisch, wie insbesondere unter Verwendung von Flußsäure (HF) oder einem Ätzmedium, das Flußsäure enthält. Ausgehend von der Deckelelektrode 1502 entsteht hierbei eine poröse Deckelelektrode bzw. Membran 1601.

Bei einer möglichen Ausführungsform der Erfindung wird die Deckelelektrode 1502 aus einer p-dotierten Schicht der ebenfalls p-dotierten Epitaxieschicht 401 gebildet. Eine p-dotierte Schicht wird von dem Ätzmedium porös geätzt. Die Bodenelektrode 1501 kann sowohl durch eine p-dotierte als auch durch eine n-dotierte Schicht gebildet werden.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird sowohl die Bodenelektrode 1501 als auch die Deckelelektrode 1502 durch eine sieb- bzw. netzartige, n-dotierte Schicht in

der p-dotierten Epitaxieschicht 401 bzw. im p-dotierten Substrat 101 gebildet. Die n-dotierten Bereiche der sieb- bzw. netzartigen Schicht sind vorzugsweise sehr schmal, flach und weisen einen geeigneten Abstand zueinander auf, so daß sie gut
5 von dem Ätzmedium zur Bildung der porösen Deckelelektrode 1502 unterätzt werden können.

Eine n-dotierte Schicht wird von dem Ätzmedium weitgehend nicht angegriffen, und das Ätzmedium durchdringt die sieb-
10 bzw. netzartige Schicht der Deckelelektrode 1502 zur Bildung des späteren Hohlraums 201. Der Hohlraum 201 kann insbesondere durch eines der bereits im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis
- 3 beschriebenen Verfahren gebildet werden. Bevorzugt ist auch für die Bodenelektrode 1501 eine sieb- bzw. netzartige,
15 vorzugsweise ebenfalls n-dotierte Schicht vorgesehen. Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise ein weitgehend homogenes elektrisches Feld beim elektrochemischen Ätzzvorgang.

Ein auf die Deckelelektrode 1502 des Absolutdrucksensors
20 wirkender äußerer Druck biegt die Deckelelektrode 1502 zur Bodenelektrode 1501 hin, wodurch sich die Kapazität des durch die beiden Elektroden gebildeten Kondensators ändert. Die elektronisch auswertbare Kapazität ist ein Maß für den auf die Deckelelektrode wirkenden Absolutdruck.

Um ein Unterätzen der Epitaxieschicht 401 im Kontaktbereich mit der porösen Deckelelektrode 1502 zu verhindern, ist der Kontaktbereich um die poröse Deckelelektrode 1502 bevorzugt n-dotiert, wodurch die mit 1503 bezeichneten n-dotierten
30 Bereiche entstehen.

Bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung wird nachfolgend auf der porösen Deckelelektrode bzw. Membran 1601 eine Verschlussschicht (nicht dargestellt) abgeschieden, z. B.
35 eine Nitridschicht. Der bei der Abscheidung herrschende Druck definiert den Druck im Hohlraum bzw. in der Kaverne 201 (vgl.

die vorstehenden Ausführungen zu diesem Punkt). Bei einer Druckänderung verändert sich der Abstand zwischen der Deckelelektrode und der Bodenelektrode und damit die Kapazität. Die Kapazitätsänderung wird durch die integrierten
5 Schaltungen 601 und 603 ausgewertet.

Bei einer zweiten Ausführungsform der Erfindung wird die Membran 1601 durch einen Oxidationsschritt und/oder eine Verschlußschicht (nicht dargestellt), wie z. B. eine
10 Oxidschicht, verschlossen. Auf der oxidierten Membran 1601 bzw. auf der Verschlußschicht wird eine weitere Schicht (nicht dargestellt), wie insbesondere eine dotierte Poly-Siliziumschicht oder eine Metallschicht, abgeschieden, die (möglicherweise nach einer Strukturierung) die Funktion einer
15 Deckelelektrode hat. Ebenso kann die Deckelelektrode beispielsweise in Form eines dotierten Bereichs in der weiteren Schicht, wie insbesondere in einer undotierten Poly-Siliziumschicht, vorgesehen sein.

20 Sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Ausführungsform können weitere Schichten abgeschieden und strukturiert werden, beispielsweise um eine Versteifung der Membran 1601, insbesondere im mittleren Membranbereich, zu erreichen.

Fig. 17 zeigt eine erste Variante einer Vorstufe 1700 eines Absolutdrucksensors 2000 (vgl. Fig. 20) mit Widerständen, wie insbesondere polykristallinen piezoresistiven Widerständen oder Metалldünnschichtwiderständen - im Querschnitt. Die durch Standardhalbleiterprozesse gebildete Vorstufe 1700 für die in
30 Fig. 19 dargestellte weitere Vorstufe 1900, weist ein Siliziumsubstrat 101, eine auf dem Siliziumsubstrat 101 abgeschiedene Silizium-Epitaxieschicht 401 und eine auf der Oberseite der Silizium-Epitaxieschicht 401 aufgebrachte Maskenschicht 102 auf. Die Maskenschicht 102 ist mit einem
35 nicht abgedeckten Bereich 103 versehen. Ferner ist in der Oberseite der Silizium-Epitaxieschicht 401 und zwischen dem

Siliziumsubstrat bzw. Wafer 101 und der Epitaxieschicht 401 jeweils eine integrierte Schaltung 601 bzw. 603 gebildet worden.

- 5 Fig. 18 zeigt eine zweite Variante einer Vorstufe 1800 zur Bildung des Absolutdrucksensors 2000 (Fig. 20) im Querschnitt. Die alternative zweite Vorstufe 1800 unterscheidet sich von der in Fig. 17 dargestellten Vorstufe 1700 darin, daß anstelle eines Siliziumsubstrats 101 und einer auf dieser
10 abgeschiedenen Silizium-Epitaxieschicht 401 lediglich ein Siliziumsubstrat bzw. Wafer 101 als Vorstufe zur Bildung des Absolutdrucksensors 2000 (vgl. Fig. 20) dient, der jedoch im Unterschied zu der in Fig. 20 dargestellten Ausführungsform keine Silizium-Epitaxieschicht 401 aufweist.

15

- Mit den vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren wird in der Silizium-Epitaxieschicht 401 der Vorstufe 1700 bzw. in dem Siliziumsubstrat 101 der Vorstufe 1800 eine poröse Siliziummembran 104 und ein darunter liegender Hohlraum bzw.
20 eine Kaverne 201 im Bereich 103 erzeugt, wie dies in Fig. 19 für die Vorstufe 1700 dargestellt ist.

- Nach der Entfernung der Maskenschicht 102 wird die poröse Membran 104 durch die Abscheidung einer Verschußschicht 2001, wie z. B. eine Nitrid-, eine Oxid-, eine Poly-Siliziumschicht oder eine monokristalline Siliziumschicht, oder durch
Oxidation verschlossen. Der bei der Abscheidung der Verschußschicht 2001 bzw. bei der Oxidation herrschende Druck definiert den im Hohlraum bzw. in der Kaverne 201
30 eingeschlossenen Druck (vgl. die vorstehenden Ausführungen zu diesem Punkt). Auf der Verschußschicht 2001 bzw. auf der oxidierten Membran (nicht dargestellt) werden Widerstände 2002, wie insbesondere polykristalline piezoresistive Widerstände oder Metaldünnschichtwiderstände, erzeugt. Die
35 Erzeugung der Widerstände 2002 kann beispielsweise durch die Abscheidung von Polysilizium auf der Verschußschicht 2001,

eine nachfolgende Dotierung des abgeschiedenen Polysiliziums und ein anschließendes Strukturieren der abgeschiedenen Poly-Siliziumschicht erfolgen (nicht dargestellt). Ferner können die Widerstände 2002 beispielsweise durch die Abscheidung
5 einer Poly-Siliziumschicht und einem strukturierten Dotieren der Poly-Siliziumschicht erzeugt werden (nicht dargestellt). Ebenso ist die Verwendung von Dehnungsmeßstreifen denkbar (nicht dargestellt).

10 Eine Druckänderung führt zu einer veränderten Durchbiegung in der durch die poröse Siliziumschicht 104 und die Verschußschicht 2001 über dem Hohlraum bzw. der Kaverne 201 gebildeten Membran. Dies geht mit einer Widerstandsänderung der piezoresistiven Widerstände 2002 einher, die vorzugsweise
15 von den integrierten Schaltungen 601 bzw. 603 oder durch eine separate Schaltung ausgewertet wird.

Aufgrund der größeren Langzeitstabilität von monokristallinen piezoresistiven Widerständen ggü. polykristallinen
20 piezoresistiven Widerständen, werden die Widerstände 2002 in einer Verschußschicht 2001 erzeugt, die eine monokristalline Siliziumschicht ist.

Alternativ können die druckabhängigen piezoresistiven Widerstände 2002 bei dem in Fig. 20 dargestellten
Absolutdrucksensor 2000 durch n-dotierte Widerstände in dem Bereich der Epitaxieschicht 401 gebildet sein, die die spätere poröse Siliziumschicht 104 bildet (nicht dargestellt).

30 Für einen Differenzdrucksensor ist es wünschenswert, wenn der Druck von der Rückseite der Membran des Differenzdrucksensors zugeführt werden kann. Um aus dem in Fig. 20 im Querschnitt dargestellten Absolutdrucksensor 2000 einen
Differenzdrucksensor 2100 (vgl. Fig. 21) oder einen
35 Differenzdrucksensor 2200 (vgl. Fig. 22) herzustellen, ist es notwendig eine Öffnung 2101 bzw. eine Öffnung 2201 von der

Unterseite des Siliziumsubstrats 101 zum Hohlraum bzw. zur Kaverne 201 zu schaffen.

Erfindungsgemäß wird die Öffnung 2101 bzw. 2201 bevorzugt
5 durch Trockenätzen, wie insbesondere durch Trenchätzen bzw. Plasmaätzen, erzeugt (vgl. die vorstehenden Ausführungen zur Erzeugung von Öffnungen durch Trockenätzen). Da ein solcher Ätzprozeß auf Oxidschichten stoppt, ist bei der in Fig. 21 dargestellten Ausführungsform eines Differenzdrucksensors 2100
10 erfindungsgemäß vorgesehen, den Hohlraum bzw. die Kaverne 201 mit einer Oxidschicht zu versehen. Dies wird erreicht, wenn der Hohlraum bzw. die Kaverne 201 durch Oxidation der porösen Siliziumschicht 104 verschlossen wird. Bevorzugt wird auf der oxidierten porösen Siliziumschicht bzw. Membran 104 eine
15 Siliziumschicht abgeschieden, auf oder in der die piezoresistiven Widerstände 2002, insbesondere durch geeignete Dotierung der Siliziumschicht, erzeugt werden. Nachfolgend wird von der Rückseite des Siliziumsubstrats bzw. Wafers 101 im Membranbereich eine Druckzuführung in Form der Öffnung 2101
20 hergestellt, vorzugsweise mittels eines Trenchätzprozesses. Ein solcher Ätzprozeß stoppt auf der vorzugsweise dünnen Oxidschicht, die den Hohlraum bzw. die Kaverne 201 von unten begrenzt. Durch einen nachfolgenden, geeigneten Trockenätzschritt oder durch einen naßchemischen Ätzschritt kann die Oxidschicht ggf. von der Rückseite des Substrats bzw. Wafers 101 entfernt werden. Bei diesem Schritt wird der Hohlraum bzw. die Kaverne 201 geöffnet.

Bevorzugt ist der Ätzschritt dergestalt, daß sämtliches Oxid
30 aus dem Hohlraum bzw. aus der Kaverne 201 herausgeätzt und somit die oxidierte, poröse Siliziumschicht 104 entfernt wird. Hieran ist von Vorteil, daß die Membrandicke des Differenzdrucksensors 2100 dann nur noch durch die auf der oxidierten, porösen Siliziumschicht 104 abgeschiedene
35 Verschlussschicht 2001 bestimmt wird. Die Schichtdicke der Verschlussschicht 2001 kann in vorteilhafter Weise sehr genau

und reproduzierbar eingestellt werden, was die Herstellung von Differenzdrucksensoren mit reproduzierbaren Eigenschaften deutlich erleichtert.

- 5 Fig. 22 zeigt eine zweite Variante eines
Differenzdrucksensors, der auf der Basis des in Fig. 20
dargestellten Absolutdrucksensors 2000 hergestellt worden ist,
im Querschnitt, wobei im Unterschied zu der in Fig. 20
dargestellten Vorstufe zwischen der Oberseite der Silizium-
10 Epitaxieschicht 401 und der Verschußschicht 2001 zusätzlich
eine Oxidschicht 2202 vorgesehen ist. In analoger Weise wie
bei Fig. 21 wird eine Öffnung 2201, vorzugsweise durch
Trenchätzen, erzeugt. Der Ätzprozeß stoppt dabei auf der
Oxidschicht 2202 und die Druckzuführung zum Hohlraum bzw. zur
15 Kaverne 201 wird geschaffen.

- Für den Fall, daß die Verschußschicht 2001 durch eine
Oxidschicht gebildet ist, kann ggf. auf eine zusätzliche
Oxidschicht 2202 verzichtet werden. Dies gilt insbesondere,
20 wenn die Stabilität der Verschußschicht 2001, die als Membran
des Differenzdrucksensors dient, ausreichend ist.

Bezugszeichenliste:

- 100 Vorstufe eines Drucksensors
- 101 Siliziumsubstrat
- 5 102 Maskenschicht
- 103 nicht abgedeckter Bereich
- 104 Siliziumschicht mit geringer Porosität
- 105 Siliziumschicht mit demgegenüber hoher Porosität
- 10 200 weitere Vorstufe eines Drucksensors
- 201 Hohlraum bzw. Kaverne
- 300 weitere Vorstufe eines Drucksensors
- 301 Silizium-Epitaxieschicht
- 15 400 weitere Vorstufe eines Drucksensors
- 401 Silizium-Epitaxieschicht
- 500 Absolutdrucksensor
- 20 501 monokristalline, piezoresistive Widerstände aus dotiertem Silizium
- 502 dotierte Zuleitungen
- 600 Absolutdrucksensor
- 601 integrierte Schaltung
- 602 integrierte Schaltung
- 603 integrierte Schaltung
- 700 Differenzdrucksensor
- 30 701 Zugangsöffnung
- 702 lateraler Kanal
- 703 Öffnung
- 800 Membranbereich
- 35 900 Differenzdrucksensor
- 901 Öffnung

902 Oxid-Stopschicht

1000 Vorstufe eines Differenzdrucksensors

1001 dicke poröse Schicht

5 1002 dotierter Bereich

1100 Differenzdrucksensor

1101 einseitig offener Hohlraum

10 1200 Differenzdrucksensor

1201 einseitig offener Hohlraum

1300 Vorstufe eines Differenzdrucksensors

1301 sich bis zur Substratunterseite erstreckende poröse

15 Siliziumschicht

1400 Differenzdrucksensor

1401 einseitig offener Hohlraum

20 1500 Vorstufe eines kapazitiven Differenzdrucksensors

1501 Bodenelektrode

1502 Deckelelektrode

1503 n-dotierter Bereich

1600 kapazitiver Differenzdrucksensor

1601 poröse Deckelelektrode bzw. Membran

1700 Vorstufe eines Absolutdrucksensors mit Widerständen

30 1800 Vorstufe eines Absolutdrucksensors mit Widerständen

1900 weitere Vorstufe eines Absolutdrucksensors mit
Widerständen

35 2000 Absolutdrucksensor mit druckabhängigen Widerständen

2001 Verschlußschicht

2002 piezoresistive Widerstände

2100 Differenzdrucksensor mit druckabhängigen piezoresistiven
Widerständen

5 2101 Öffnung

2200 Differenzdrucksensor mit druckabhängigen piezoresistiven
Widerständen

2201 Öffnung

10 2202 Oxidschicht

ROBERT BOSCH GMBH
Postfach 30 02 20
D-70442 Stuttgart

5

Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements sowie
ein nach dem Verfahren hergestelltes Halbleiterbauelement

10

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements
(100; ...; 2200), insbesondere ein mehrschichtiges
Halbleiterbauelement, vorzugsweise ein mikromechanisches
Bauelement, wie insbesondere ein Drucksensor, das ein
Halbleitersubstrat (101) aufweist, wie insbesondere aus
Silizium,

20

dadurch gekennzeichnet,

daß in einem ersten Schritt eine erste poröse Schicht
(104; 1001; 1301) in dem Halbleiterbauelement gebildet
wird; und

daß in einem zweiten Schritt ein Hohlraum bzw. eine
Kaverne (201; 1101; 1201; 1401; 2101; 2201) unter oder
aus der ersten porösen Schicht (104; 1001; 1301) in dem
Halbleiterbauelement gebildet wird, wobei der Hohlraum
bzw. die Kaverne mit einer externen Zugangsöffnung
versehen sein kann.

30

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß der zweite Schritt einen ersten Unterschritt
aufweist, während dem unter der ersten porösen Schicht

35

(104) eine zweite poröse Schicht (105) mit einer Porosität von mehr als ca. 70 % und weniger als 100 %, vorzugsweise ca. 85 bis 95 %, gebildet wird.

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Hohlraum bzw. die Kaverne (201) durch einen
Temperschnitt aus der zweiten porösen Schicht gebildet
wird.
- 10
4. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß in einem ersten Unterschritt des zweiten Schritts
eine Zugangsöffnung bzw. ein einseitig offener Hohlraum
15 (1101; 1201; 1401) in Richtung auf die erste poröse
Schicht (1001; 1301) und/oder auf eine zweite poröse
Schicht gebildet wird, wobei die erste und/oder zweite
poröse Schicht ganz oder teilweise bevorzugt über die
Zugangsöffnung bzw. den einseitig offenen Hohlraum
20 entfernt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß der zweite Schritt einen ersten Unterschritt
aufweist, während dem unter der ersten porösen Schicht
(104) ein zunächst flächenhafter Hohlraum gebildet wird,
und sich der zunächst flächenhafte Hohlraum in die Tiefe
ausdehnt und so aus dem zunächst flächenhaften Hohlraum
der Hohlraum bzw. die Kaverne (201) entsteht.
- 30
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die erste und/oder zweite poröse Schicht (104, 105)
durch ein oder mehrere Ätzmedien gebildet wird bzw.
35 gebildet werden, wobei das Ätzmedium und/oder die

Ätzmedien vorzugsweise Flußsäure, HF-Säure, aufweisen oder aus Flußsäure bestehen.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
5 dadurch gekennzeichnet,
daß das Ätzmedium bzw. die Ätzmedien mit einem oder mehreren Zusätzen versehen ist bzw. sind, wie Zusätzen zur Verringerung der Blasenbildung, zur Verbesserung der Benetzung und/oder zur Verbesserung der Trocknung, wie
10 insbesondere ein Alkohol, wie beispielsweise Äthanol, wobei die Volumenkonzentration des Zusatzes, wie insbesondere Äthanol, bei Äthanol vorzugsweise ca. 60 % bis ca. 100 % , beträgt.
- 15 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,
daß die erste und/oder zweite poröse Schicht (104, 105) unter Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen der Oberseite und der Unterseite des Halbleiterbauelements
20 (100; ...; 2200) und der Einstellung eines elektrischen Stroms gebildet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,
daß die Verfahrensparameter zur Bildung der zweiten porösen Schicht (105) bzw. zur Bildung des zunächst flächenhaften Hohlraums derart gewählt werden, daß die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume in der zweiten porösen Schicht deutlich höher ist als die
30 Ausdehnungsgeschwindigkeit der Poren bzw. Hohlräume zur Bildung der ersten porösen Schicht (104).
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet,
35 daß die Verfahrensparameter zur Bildung des zunächst flächenhaften Hohlraums derart gewählt werden, daß die

Poren bzw. Hohlräume der zweiten porösen Schicht (105) einander in lateraler Richtung "überlappen" und so eine einzige zunächst flächenhafte Pore bzw. ein einziger zunächst flächenhafter Hohlraum gebildet wird.

5

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierung des zu ätzenden Halbleitersubstrats (101), wie insbesondere ein Siliziumsubstrat, die Stromdichte in dem Ätzmedium bzw. in den Ätzmedien, die Flußsäure-Konzentration in dem Ätzmedium bzw. in den Ätzmedien, ein oder mehrere Zusätze zum Ätzmedium bzw. zu den Ätzmedien und die Temperatur Verfahrensparameter darstellen.

10

15

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß in der Kaverne bzw. im Hohlraum (201) eingeschlossener Wasserstoff im Rahmen eines Hochtemperaturschritts aus der Kaverne bzw. dem Hohlraum weitgehend ganz oder teilweise entfernt wird.

20

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß auf der ersten porösen Schicht (104) eine Epitaxieschicht (301; 401), wie beispielsweise eine Siliziumschicht, abgeschieden wird, die vorzugsweise monokristallin ist.

30

14. Halbleiterbauelement (100; ...; 2200), insbesondere ein mehrschichtiges Halbleiterbauelement, vorzugsweise ein mikromechanisches Bauelement, wie insbesondere ein Drucksensor, mit einem Halbleitersubstrat (101), wie insbesondere aus Silizium, und einem Hohlraum bzw. einer Kaverne (201; 1101; 1201; 1401; 2101; 2201), wobei der

35

Hohlraum bzw. die Kaverne mit einer externen
Zugangsöffnung versehen sein kann,
gekennzeichnet durch
eine poröse Schicht (104; 1001; 1301) oberhalb des
5 Hohlraums bzw. der Kaverne.

- 10 15. Halbleiterbauelement (100; ...; 2200), insbesondere ein
mehrschichtiges Halbleiterbauelement, vorzugsweise ein
mikromechanisches Bauelement, wie insbesondere ein
Drucksensor, mit einem Halbleitersubstrat (101), wie
insbesondere aus Silizium,
dadurch gekennzeichnet,
daß es mit einem Verfahren nach einem oder mehreren der
Ansprüche 1 bis 13 hergestellt worden ist.

ROBERT BOSCH GMBH

Postfach 30 02 20

D-70442 Stuttgart

5

Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements sowie
ein nach dem Verfahren hergestelltes Halbleiterbauelement

10

Zusammenfassung

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung
15 eines Halbleiterbauelements (100; ...; 2200), insbesondere ein
mehrschichtiges Halbleiterbauelement, vorzugsweise ein
mikromechanisches Bauelement, wie insbesondere ein
Drucksensor, das ein Halbleitersubstrat (101) aufweist, wie
insbesondere aus Silizium, und von einem verfahrensgemäß
20 hergestellten Halbleiterbauelement.

Insbesondere zur Reduzierung der Herstellungskosten eines
solchen Halbleiterbauelements wird vorgeschlagen, das
Verfahren dahingehend weiterzubilden, daß in einem ersten
Schritt eine erste poröse Schicht (104; 1001; 1301) in dem
Halbleiterbauelement gebildet wird, und daß in einem zweiten
Schritt ein Hohlraum bzw. eine Kaverne (201; 1101; 1201; 1401;
2101; 2201) unter oder aus der ersten porösen Schicht (104;
1001; 1301) in dem Halbleiterbauelement gebildet wird, wobei
30 der Hohlraum bzw. die Kaverne mit einer externen
Zugangsöffnung versehen sein kann.

(Fig. 1)

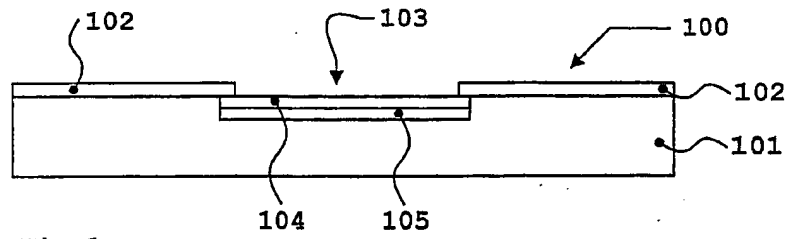


Fig. 1

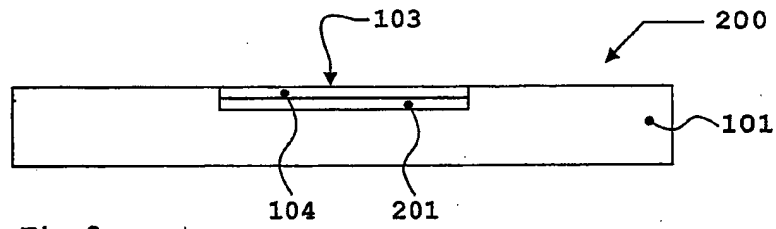


Fig. 2

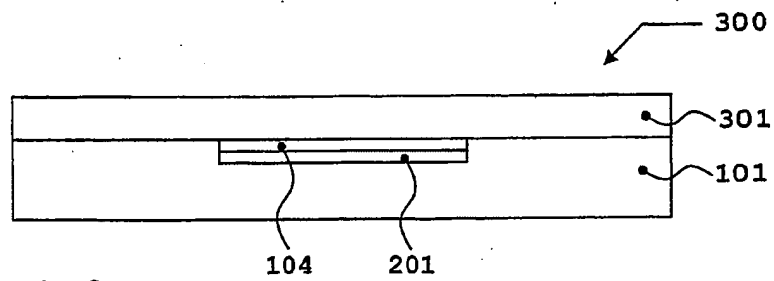


Fig. 3

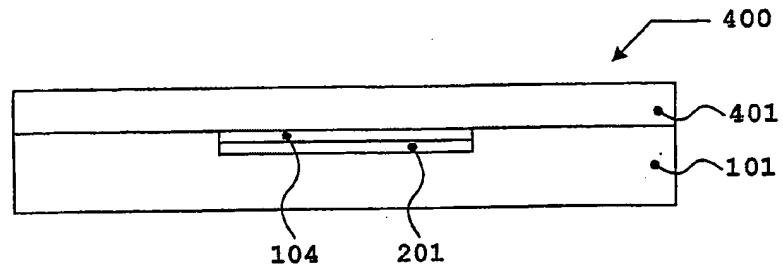


Fig. 4

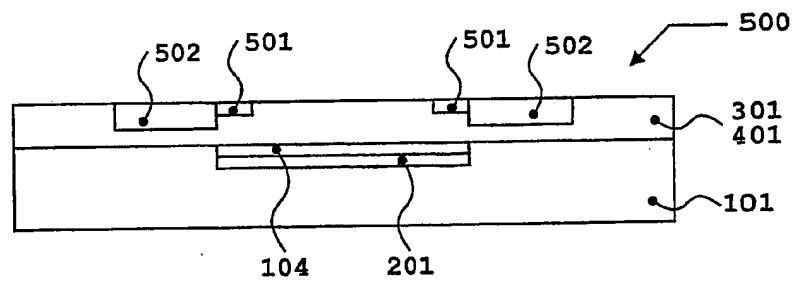


Fig. 5

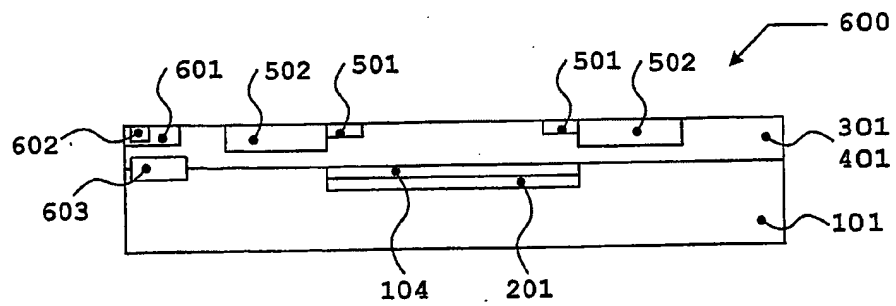


Fig. 6

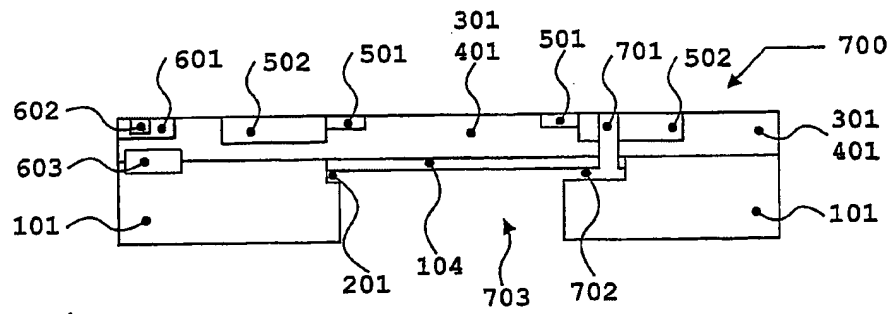


Fig. 7

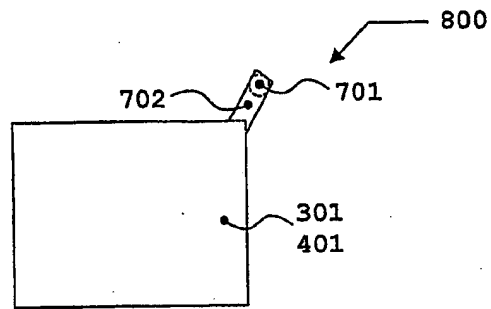


Fig. 8

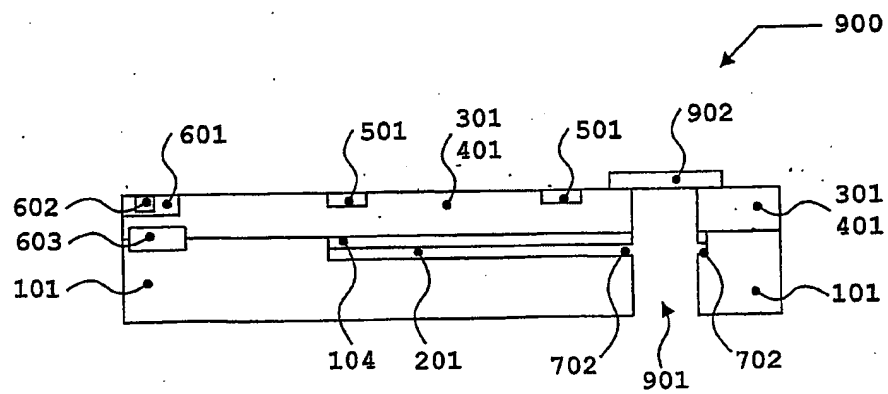


Fig. 9

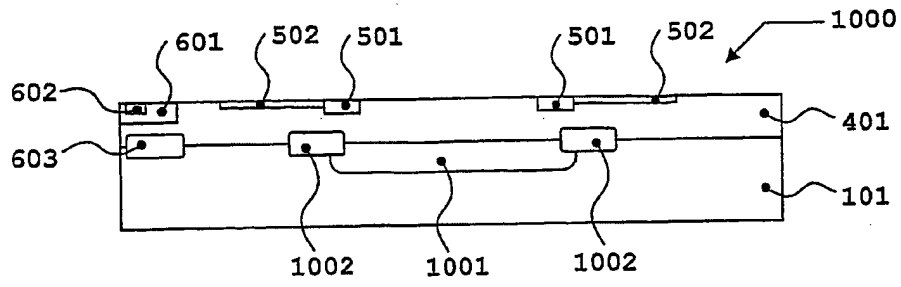


Fig. 10

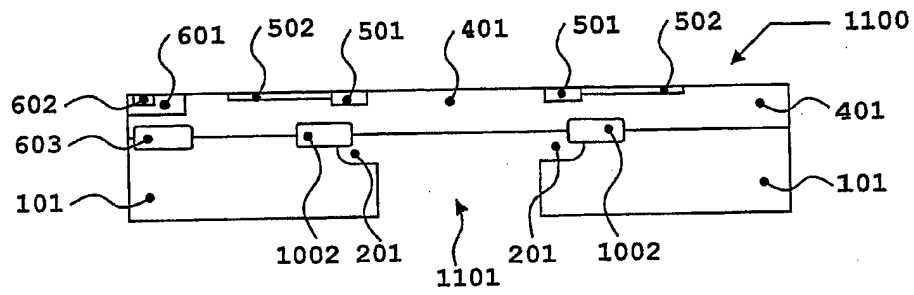


Fig. 11

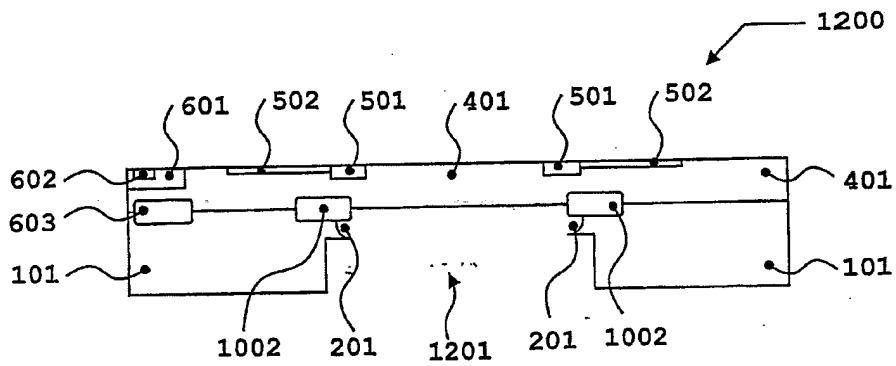


Fig. 12

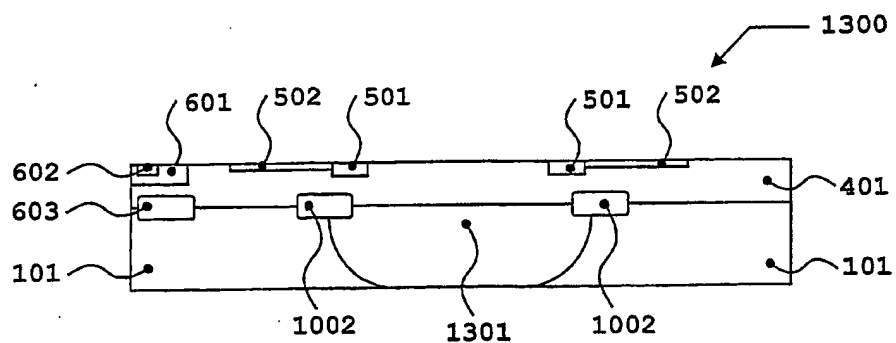


Fig.13

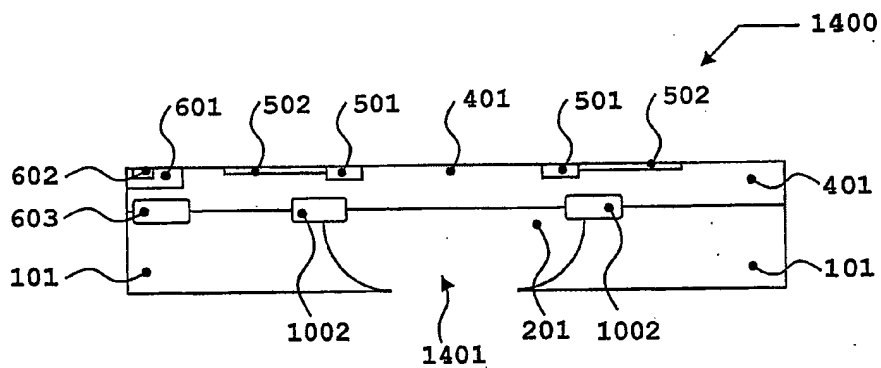


Fig.14

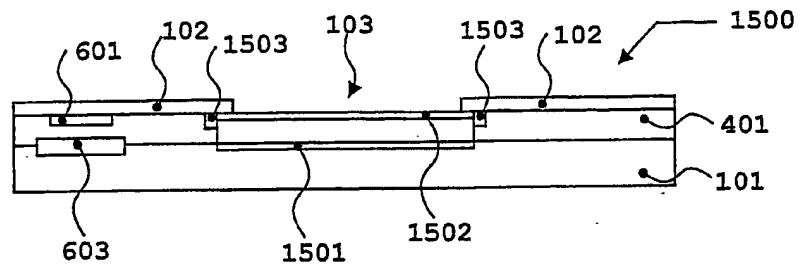


Fig.15

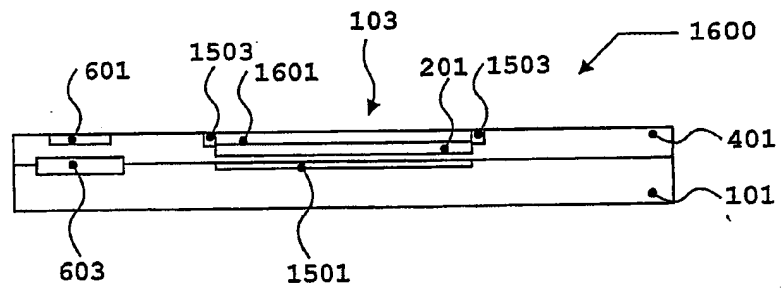


Fig.16

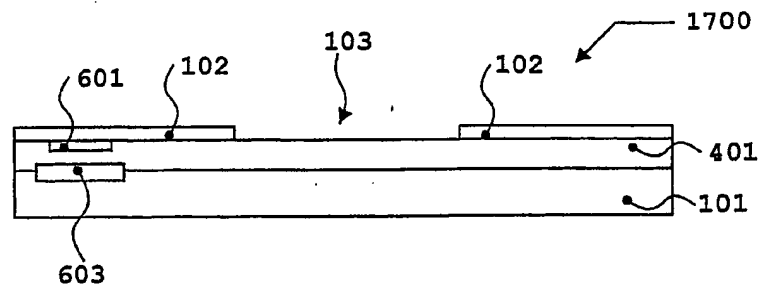


Fig.17

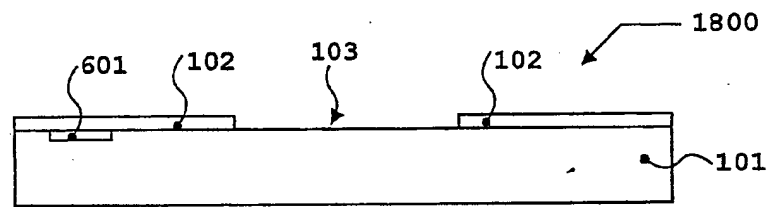


Fig.18

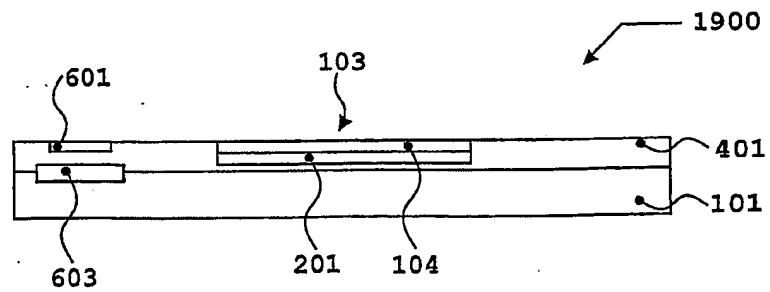


Fig.19

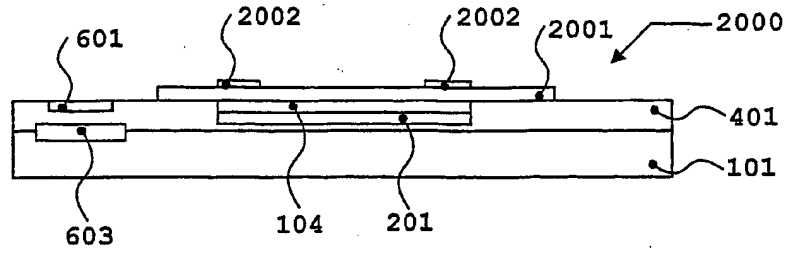


Fig. 20

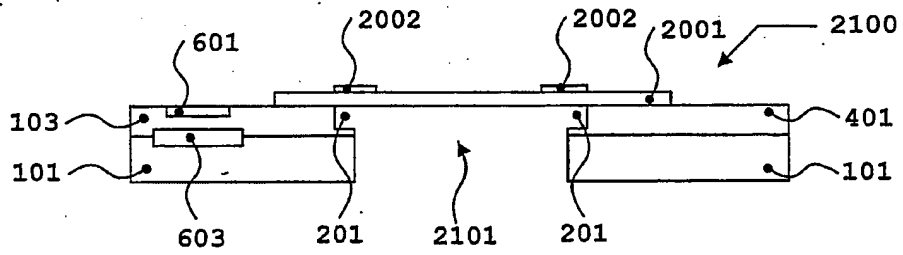


Fig. 21

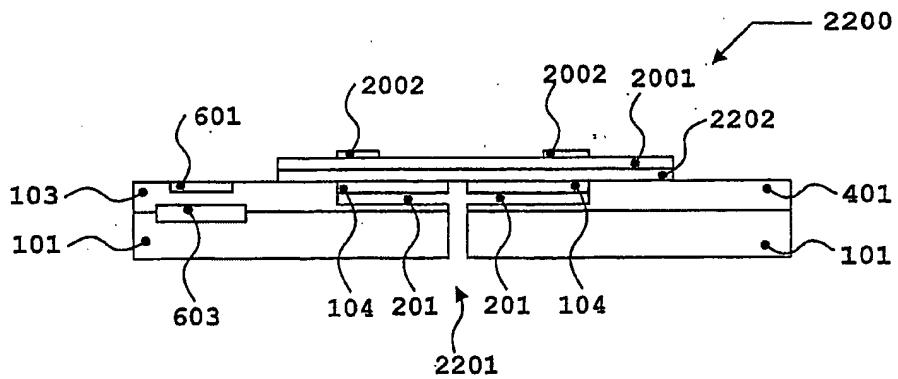


Fig. 22